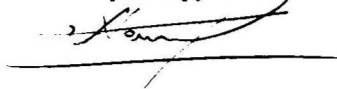


0-798290

На правах рукописи



ГАЛИУЛЛИН РИНАТ РАВИЛЕВИЧ

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ
ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ**

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Казань – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Изотов Владимир Сергеевич

Официальные оппоненты: **Мирсаяпов Илизар Талгатович**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,
зав.кафедрой «Оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии»

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КФУ



0000758005

Акатьев Владимир Андреевич
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Российский государственный социальный университет», профессор кафедры защиты окружающей среды и промышленной безопасности

Ведущая организация: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко
ОАО «НИЦ «Строительство» г. Москва

Защита состоится «17» декабря 2012 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, ауд. 3-203 (зал заседаний Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан «17» ноября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Абдрахманова Л.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние годы все чаще появляется информация о катастрофических разрушениях зданий и сооружений, которые происходят не только из-за ошибок, возникших в процессе строительства объектов, но и из-за нарушений, возникших в процессе их эксплуатации. Каждое здание и сооружение представляет собой сложную техническую систему с заранее заданными техническими параметрами, которые должны контролироваться в процессе изготовления конструкций, строительно-монтажных работ, при приемке и в ходе эксплуатации, а также перед постановкой объекта на капитальный ремонт, реконструкцию или списание. Только при всестороннем техническом контроле процессов строительства и эксплуатации зданий становится возможным снизить количество дефектов, появление которых обуславливается недостатками технологии, отклонениями при выполнении строительно-монтажных работ, а также отсутствием эффективных методов количественной оценки технического состояния зданий и сооружений, как при строительстве, так и при эксплуатации. Для контроля и оценки качества строительных работ используются различные методы, основанные, в основном, на визуальном контроле и иногда на локальном определении физико-механических характеристик материалов строительных конструкций, при этом не производится интегральная оценка всей конструктивной системы здания. Как правило, контроль сводится к проверке соответствия требованиям СНиП отдельных элементов здания. При этом в общепринятых методиках не производится оценка прочности и устойчивости здания в целом с учётом его геометрических, физико-механических, динамических и теплотехнических параметров, включая окружающий грунтовый массив. Динамические методы диагностирования позволяют оценить состояние здания в целом и в последующем локализовать выявленные дефекты, которые могут быть уточнены тепловизионными методами. Эти методы позволяют более точно определить риски обрушения, остаточный ресурс и риски для людей, находящихся в здании.

Поэтому разработка методики оценки технического состояния зданий на основе динамических критериев, позволяющая повысить объективность и достоверность полученных результатов, сократить сроки проведения технического обследования, является актуальной научно-технической задачей.

Объектом исследования является техническое состояние несущих систем зданий.

Предметом исследования являются динамические параметры несущих систем зданий, влияющие на их конструктивную надежность и безопасность.

Целью исследования является разработка методики количественной оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев (периода и частоты собственных колебаний) для повышения их конструкционной безопасности и эксплуатационной пригодности.

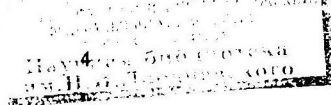
Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие

задачи:

- провести анализ состояния исследований и нормативно-технической базы в области диагностики технического состояния несущих систем зданий;
- определить основные информационные признаки состояния грунтовых оснований и несущих конструкций при динамическом методе диагностирования;
- провести численные исследования влияния многофакторности (податливости грунтового основания, работы временных нагрузок, дефектов и повреждений, податливости стыков и остаточных деформаций) на расчетные частоты собственных колебаний на примере зданий с железобетонным каркасом, с использованием расчетных комплексов;
- адаптировать теорию прогнозирования риска аварии для количественной оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев;
- определить границы динамических критериев (периода и частоты собственных колебаний) зданий, для количественной оценки категорий технического состояния;
- провести экспериментальные исследования частоты собственных колебаний зданий с железобетонным каркасом и сравнить их с расчетными значениями;
- разработать методику количественной оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев (периода и частоты собственных колебаний);
- разработать алгоритм последовательности действий и принятия решений при количественной оценке технического состояния зданий с использованием теории прогнозирования риска аварии.

Научная новизна работы:

- теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены зависимости частоты собственных колебаний зданий с железобетонным каркасом от величины временной нагрузки и от податливости основания для оценки жесткости несущих систем;
- впервые определены границы периода собственных колебаний несущих систем зданий, позволяющие количественно оценить категорию их технического состояния (0-4% - нормативное техническое; 5-10% - работоспособное; 11-49% - ограниченно работоспособное; 50-95% и выше - аварийное);
- определена зависимость фактического износа здания (J) от периода собственных колебаний (T) на основе теории прогнозирования риска аварии, позволяющая определить увеличение периода собственных колебаний несущих систем зданий для оценки категории их технического состояния;
- теоретически обоснован и экспериментально подтвержден основной диагностический признак снижения жесткости несущих систем, представленной в виде разности (Δf) фактической (f_f) и расчетной (f_p) величин, определено условие, позволяющее судить о снижении несущей способности зданий.



Практическая ценность работы:

- разработана методика количественной оценки технического состояния несущих систем зданий на основе периода и частоты собственных колебаний, позволяющая повысить объективность и достоверность полученных результатов, сократить сроки проведения технического обследования, особенно для высотных и уникальных объектов, а также объектов с ограниченным доступом для визуального и локального контроля;

- предложенная методика может быть использована в рамках системы качества строительных организаций (по ГОСТ Р ИСО серии 9000) и в целях технического регулирования для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений в соответствии с требованиями ФЗ РФ «О техническом регулировании»;

- данная методика предлагается к применению в системах автоматизированного мониторинга надежности и безопасности возводимых и эксплуатируемых зданий.

Положения выносимые на защиту:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния динамических критериев (частоты и периода собственных колебаний) на жесткость несущих систем, на примере зданий с железобетонным каркасом;

- алгоритм последовательности действий и принятия решений при оценке категории технического состояния несущих систем зданий;

- методика количественной оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев.

Личный вклад автора заключается в выполнении основного объема теоретических и расчетных исследований, изложенных в диссертационной работе, включая разработку методики оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев, ее экспериментальной апробации и оформлении результатов в виде публикаций и научных докладов.

Апробация и внедрение результатов исследования

Материалы диссертации докладывались на первой международной научно-практической конференции в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете «Оценка риска и безопасность строительных конструкций» 9-10 ноября 2006 года, на ежегодных Республиканских научно-практических конференциях в Казанском государственном архитектурно-строительном университете в 2005 - 2008 годах, а также на научно-практической конференции в Московском государственном горном университете 12 ноября 2009 года. По теме диссертационной работы опубликовано 10 работ, в том числе в 3 изданиях, рекомендуемых ВАК. Разработанная методика оценки технического состояния несущих систем зданий опробована и применяется в Автономной некоммерческой организации проектный изыскательский институт «Центр экспертиз и испытаний в строительстве», в Закрытом акционерном обществе «Казанский Гипростройавиапром» и принята к реализации в ряде других строительных и проектных организаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Работа содержит 145 страниц текста, в том числе 10 таблиц, 32 рисунка, 165 источников литературы и приложений.

Автор выражает благодарность за помощь в работе кандидату технических наук Г.М. Нигметову, доктору химических наук В.Ф. Строганову, кандидату физико-математических наук Ю.П. Дябину.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности решаемой проблемы, сформулирована цель работы, показана научная новизна и практическая ценность исследований.

В первой главе представлен анализ направлений и методов оценки технического состояния несущих систем зданий, определены наиболее часто встречающиеся дефекты несущих конструкций, которые приводят к потере прочности и устойчивости. Приводится краткое описание существующих методов контроля и применяемых приборов для определения качественных характеристик конструкций, выработаны методологические основы решения проблемы.

Существующие методы оценки технического состояния железобетонных зданий основаны в основном на визуальных и локальных способах диагностирования. Известны методики, которые по результатам визуального и инструментального контроля, дают степень износа отдельных конструктивных элементов (Добромыслов А.Н., Лычев А.С., Гроздов В.Т., Землянский А.А., Мирсяпов И.Т., Соколов Б.С. и др.).

В СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» (актуализация СНиП 2.01.07-85), РД 153-34.1-21.326-2001 «Методические указания по обследованию строительных конструкций производственных зданий и сооружений тепловых электростанций» приводятся критерии по возможным предельным прогибам, кренам, локальным дефектам отдельных конструктивных элементов, что также не позволяет дать интегральную оценку о техническом состоянии несущих систем зданий в целом.

В ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация зданий», ГОСТ Р 54859-2011 «Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний» приводятся только методики измерений экспериментальных значений динамических параметров зданий.

Основные теоретические подходы при расчетах динамики сооружений в области строительства приведены в работах Р.В.Клафа, Д.Пензиена, В.В.Болотина, Д.Г.Копаницы, А.П.Мельчакова и др.

Основные практические подходы разработаны в работах М.А.Шахрамьяна, Г.М. Нигметова, Н.К.Капустян, В.А. Котляревского, Г.Э.Шаблинского, Г.Г. Болдырева, В.А.Акатьева, Я.М.Айзенберга и др., однако в них не приводится количественная оценка категорий технического состояния несущих систем зданий, не определено влияние наиболее значимых факторов на расчетные величины динамических параметров.

На основе выполненного в главе анализа проблем оценки технического состояния зданий, установлено, что основными диагностическими параметрами технического состояния зданий и сооружений, влияющими на их устойчивость и надежность являются:

- геометрические параметры зданий (сооружений) и их основных конструктивных элементов;
- геологические параметры строительной площадки;
- физико-механические параметры конструктивных элементов зданий;
- динамические параметры зданий (сооружений) и грунтов строительной площадки.

Определены критерии оценки технического состояния несущих систем зданий с помощью динамического метода – это период и частота собственных колебаний зданий. Известно, что основным динамический параметр – период собственных колебаний конструктивной системы (T) связан с её жесткостью (EJ). Поэтому результаты динамических испытаний периода собственных колебаний сооружения дают величину снижения интегральной жесткости сооружения. Математически зависимость периода собственных колебаний (T) от жесткости выражается формулой(1):

$$T = \kappa \sqrt{\frac{m}{EJ}}, \quad (1)$$

где κ – коэффициент, учитывающий тип конструктивной схемы,
 m – масса, E – модуль упругости, J – момент инерции.

В целом, для любой конструктивной системы период собственных колебаний (T) характеризует жесткость системы(EJ). Можно считать, что масса здания (m) примерно неизменна, тогда снижение момента инерции (J), показывает наличие возможных дефектов в сечениях конструктивных элементов сооружения. Снижение модуля упругости (E) показывает, что происходит уменьшение прочности конструктивных элементов. Поэтому по изменению периода и частоты собственных колебаний несущих систем зданий можно оценивать изменение их конструктивной жесткости и дать количественную оценку их технического состояния.

Во второй главе диссертационной работы разработаны теоретические подходы для определения количественной оценки технического состояния зданий и определена зависимость собственной частоты колебаний зданий (f) от жесткости несущих систем (B). Показано, что снижение жесткости строительных систем (ΔB) на величину Δf позволяет судить о снижении несущей способности, как грунтовых оснований, так и несущих конструкций.

Рассматриваемый в работе динамический метод диагностирования основан на выявлении информативных диагностических признаков состояния грунтовых оснований и несущих конструкций, содержащихся в передаточной функции сооружения $\eta(\omega)$ по спектрам выходных сигналов вибрационных перемещений и ускорений $G_v(\omega)$.

Информативными диагностическими признаками служат два параметра, которые изменяются при изменении (снижении) жесткости ΔB , а именно

происходит снижение собственной частоты колебаний f_{ij} на величину Δf и увеличение пика передаточной функции $\eta(\omega)$ (где i -номер формы колебаний j -й диагностируемой системы). Смещение пика Δf нами предлагается рассчитывать по формуле (2):

$$\Delta f = f_p - f\phi \quad (2),$$

где: ϕ – фактическая (экспериментальная) частота собственных колебаний здания;

f_p – расчетная частота собственных колебаний здания.

При нормативном техническом состоянии здания (ГОСТ Р 53778-2010), в случае использования формулы (2) должно выполняться условие (3):

$$f\phi \geq f_p \quad (3).$$

Влияние физико-механических характеристик грунтового основания (модуля упругости, угла внутреннего трения, коэффициента сцепления) и характеристик несущих систем зданий (модули упругости и моменты инерции сечений как для бетона, так и для арматуры), особенно в том случае, когда имеет место трещинообразование бетона, на жесткость конструкции, выявляемых по анализу спектров вибрационных перемещений и ускорений, является комплексным показателем снижения ее несущей способности. Показано, что основным диагностическим признаком служит смещение пика Δf , который определяется по предложенной в работе формуле (2), а второй признак v (амплитуда колебаний) является вспомогательным, поскольку в этом случае зависит не только от снижения жесткости (ΔB), но и от увеличения энергии внешней динамической нагрузки.

Показано, что при динамической диагностике судить о снижении несущей способности (жесткости) грунтовых оснований и строительных конструкций только по факту увеличения амплитуд их колебаний физически неправомерно. Необходимо знание главного параметра Δf , который и является основным информативным диагностическим признаком снижения жесткости (несущей способности) диагностируемых конструкций.

Учитывая, что жесткость строительных систем (B) является физическим показателем их несущей способности, то определение снижения жесткости строительных систем на некоторую величину (ΔB) по параметрам Δf и v , фиксируемым в спектрах выходных сигналов перемещений и ускорений $G_v(\omega)$, позволит судить о снижении несущей способности, как грунтовых оснований, так и несущих конструкций согласно предлагаемому нами условию (4):

$$\Delta B = f(\Delta f, v) \quad (4),$$

при этом, если $\Delta f = 0$, а $v = 1$, то состояние несущих элементов стабильно, а при $\Delta f > 0$ и $v > 1$ жесткость (несущая способность) снижается.

Для определения величины Δf необходимо более достоверное получение значений фактической (экспериментальной) и расчетной величин частоты собственных колебаний несущих систем зданий.

В третьей главе для определения влияния различных факторов на расчетную частоту собственных колебаний здания (f_p), проведен многофакторный численный эксперимент (рис.1), в котором варьировались

следующие факторы: податливость грунтового основания, работа временных нагрузок, дефекты и повреждения, податливость стыков, остаточные деформации.



Рис. 1. Программа проведения численного эксперимента

Для реализации данного эксперимента выполнено компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) несущих систем зданий на примере здания с железобетонным каркасом при статических и динамических нагрузках, что позволило установить наиболее значимые факторы, влияющие на расчетную частоту собственных колебаний, и установить величину отклонений расчетных величин от фактических.

Расчеты проводились с помощью двух программных комплексов: Ли́ра (Киев) и Stark_ES (Москва). Оба расчетных комплекса реализуют метод конечных элементов в форме метода перемещений и позволяют решать достаточно широкий спектр задач.

Для оценки влияния различных факторов на динамические характеристики здания, рассматривался каркас многоэтажного здания (6 этажей) и зданий с повышенной этажностью с разными жесткостными характеристиками (16 и 17 этажей). Для проведения численных исследований в структурах программ Ли́ра и Stark_ES были созданы абсолютно идентичные пространственные компьютерные модели каркаса в 6, 16 и 17 этажей.

Проведен анализ изменения расчетных значений собственных низших частот монолитного каркаса относительно фактических (рис.2). Установлено, что при рассмотрении монолитной конструкции многоэтажного здания (6 этажей) расчетные частоты оказались значительно **выше** фактических (экспериментальных). Отклонение составляет до 48%, и связано это с тем, что в расчете не было учтено влияние работы свайного основания, включение которого в расчетную модель, приведет к увеличению податливости всего сооружения и, как следствие, снижению его собственных частот колебаний.

Результаты эксперимента позволили установить, что расчетные частоты зданий с повышенной этажностью с (16 и 17 этажей) ниже фактических.

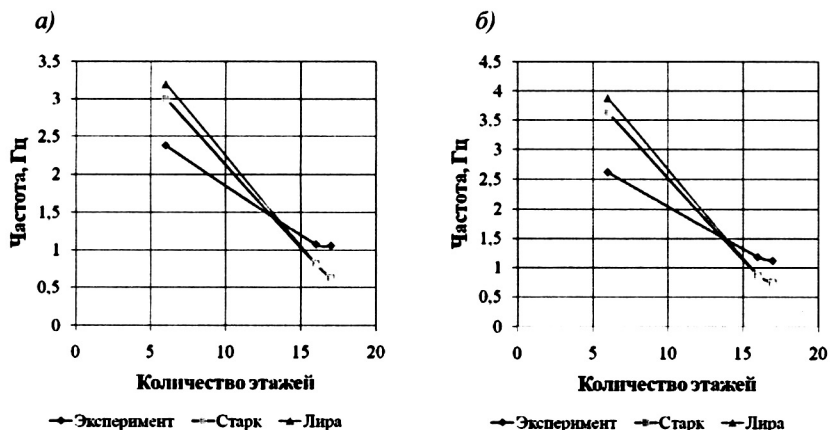


Рис.2. График изменения частоты собственных колебаний здания по направлению буквенных осей здания: а – по оси «Х», б – по оси «У».

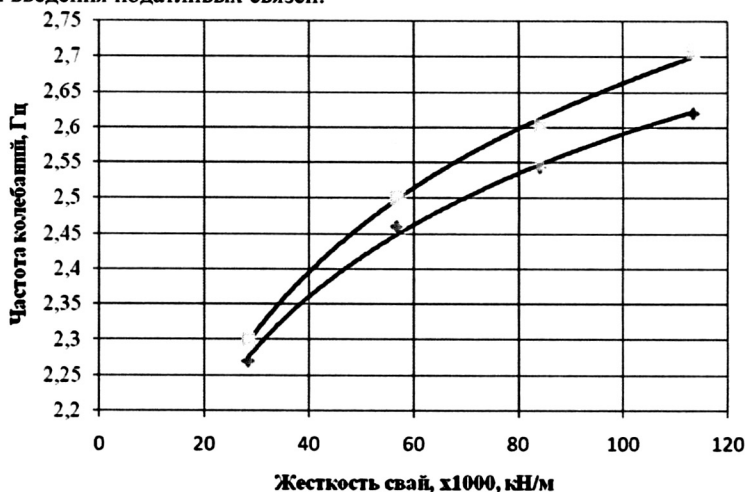
Отклонение составляет до 27,5% для 16 и 34,6% для 17 этажей. Связано это с тем, что во-первых, на динамические параметры здания оказывает влияние наличие внутренних и наружных стен из штучных материалов. Включаясь в работу, они увеличивают жесткость сооружения и, как следствие, повышают собственные частоты. В расчетных же моделях, как правило, учитывается жесткость только основных несущих элементов монолитного каркаса, а кирпичные перегородки и стены задаются лишь в виде внешней линейной нагрузки. Такой подход приводит к увеличению массы конструкции без эквивалентного увеличения ее жесткости и, как следствие, отклонению полученных расчетных параметров от реальных. Во-вторых, на стадии эксплуатации здания существенное влияние на его общую массу оказывает временная (полезная) нагрузка, действующая на перекрытия, меняющаяся во время эксплуатации, что было учтено в численном эксперименте. В-третьих, на частоты собственных колебаний зданий оказывает влияние податливость грунтового основания.

Для оценки влияния податливости основания фундаментов на динамические параметры шести этажного здания были проведены исследования при различных параметрах жесткости свай.

Результаты исследования (рис.3) показали, что расчетные частоты собственных колебаний (f_p) зависят не только от жесткости самого здания, но от податливости грунтового основания. При этом чем выше податливость основания, тем ниже частоты.

При определении влияния на частотные характеристики работы наружных стен и перегородок из штучных материалов рассматривалось 16 и 17 этажное здание. Расчет произведен в 2-х вариантах: при жестком основании и

податливом основании (рис.4), во втором случае работа свай учитывалась путем введения податливых связей.



♦ частота колебаний по оси "X" ■ частота колебаний по оси "Y"

Рис. 3. Влияние податливости основания на изменение частот колебаний здания

а) Расчетная модель здания б) Фрагмент расчетной модели. Стены промежуточного этажа.

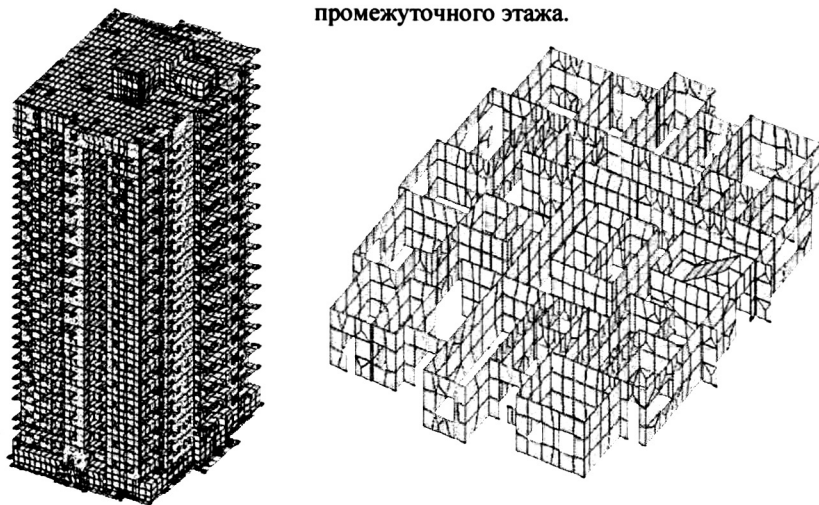


Рис.4. Варианты расчетных моделей

Таблица 1

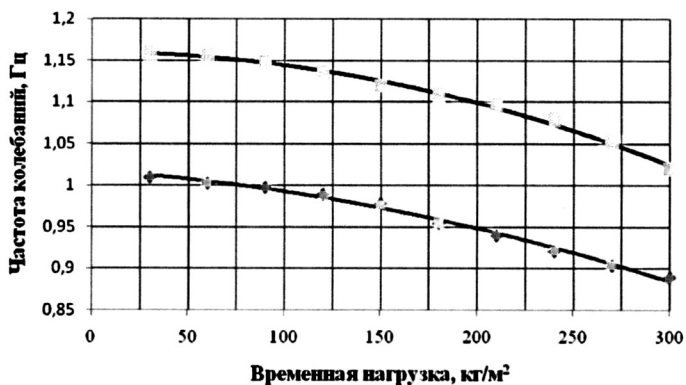
Сравнение результатов расчета 16-ти этажного монолитного каркаса

Направление	Частоты, Гц					
	при жестком основании	без учета работы стен и перегородок	при жестком основании с учетом работы стен и перегородок	при жестком основании с учетом работы стен и перегородок	при податливом основании с учетом работы стен и перегородок	при податливом основании с учетом работы стен и перегородок
f_{x1}	0,81 Гц		1,39 Гц		1,08 Гц	
f_{y1}	0,87 Гц		1,55 Гц		1,22 Гц	

Из результатов расчетов (табл.1) следует, что наилучшая сходимость численных и фактических данных наблюдается при расчете каркаса с учетом податливости основания и работы второстепенных элементов (наружных стен и перегородок).

При определении влияния на частотные параметры здания работы временной нагрузки (ν), действующей на перекрытия, рассматривалась 17-этажное здание. При этом было проведено три расчета при разных уровнях этой нагрузки (рис.5):

- 1) $\nu = 30 \text{ кг/м}^2$ (учитывается только длительная часть этой нагрузки)
- 2) $\nu = 150 \text{ кг/м}^2$ (учитывается полное значение нагрузки, она имеет статус кратковременной);
- 3) $\nu = 300 \text{ кг/м}^2$ (рассматривается повышенный уровень нагрузки).



◆ частота колебаний по оси "х" ■ частота колебаний по оси "у"

Рис. 5. Зависимость частоты колебаний здания от величины временной нагрузки

Анализ результатов расчета показывает, что сходимость численных значений частот собственных колебаний здания с фактическими значениями при учете только длительной части временной нагрузки от веса людей и оборудования (30 кг/м^2) достаточно высокая. Расхождение составляет не более 5,9%. С увеличением интенсивности действующей нагрузки расхождение

увеличивается до 20%, что необходимо учитывать при получении расчетной величины частоты собственных колебаний зданий.

Для оценки влияния возникших в здании дефектов и повреждений на периоды собственных колебаний было проведено несколько тестовых расчетов (табл.2).

В первом случае в модели здания было произведено снижение жесткости локальных зон плиты перекрытия в уровне только первого этажа на 70% за счет искусственного снижения модуля упругости E_b .

Во втором случае на уровне первого этажа из расчетной модели здания было исключено несколько несущих колонн в пределах зоны площадью 80 м².

В третьем случае была понижена в целом жесткость всего каркаса путем введения к начальному модулю упругости бетона E_b понижающих коэффициентов 0,6 и 0,3 для вертикальных и горизонтальных несущих элементов, соответственно.

Таблица 2

Результаты расчета 17-ти этажного монолитного каркаса
с учетом введения участков с пониженной жесткостью

Направление	Частоты, Гц			
	Расчетные начальные частоты, полученные без снижения жесткости каркаса	Случай 1 (снижены жесткости локальных участков плиты перекрытия)	Случай 2 (исключено несколько колонн 1-го этажа)	Случай 3 (снижена жесткость всего каркаса)
f_{x1}	1,01 Гц	1,01 Гц	0,76 Гц	0,69 Гц
f_{y1}	1,16 Гц	1,16 Гц	0,83 Гц	0,76 Гц
Отклонение от начальных значений	-	0 % (f_{x1}) 0 % (f_{y1})	-32,89% (f_{x1}) -39,75 (f_{y1})	-46,37% (f_{x1}) -52,63% (f_{y1})

Анализ результатов расчета показывает, что возникновение повреждений и дефектов конструкций зданий в локальных зонах, величина которых несущественно снижает общую жесткость всего каркаса (случай 1), практически не влияет на динамические параметры здания. Напротив, существенное снижение жесткости каркаса, связанное с повреждением несущих элементов в ответственных местах (случай 2) или появление дефектов, в результате которых возникает повсеместное снижение жесткости по всей высоте здания (случай 3), может вызвать уменьшение собственных частот до 53%. Такое снижение, как правило, не приводит к внезапному обрушению конструкций. О возможности такого обрушения может свидетельствовать дальнейшее уменьшение частот собственных колебаний здания.

Проведенный многофакторный численный эксперимент на примере зданий с железобетонным каркасом, в котором варьировались различные факторы (податливости грунтового основания, работы временных нагрузок, дефектов и повреждений, податливости стыков, остаточных деформаций)

позволил из числа перечисленных выделить наиболее значимые.

На расчетные частоты и формы собственных колебаний здания значительное влияние оказывает:

- интенсивность приложенной на перекрытия временной нагрузки. Чем выше интенсивность нагрузки, тем ниже оказываются расчетные частоты. Зависимость частоты собственных колебаний здания по осям (х,у) от величины временной (v) нагрузки выражается формулами (5,6):

$$f_{x1} = 6e - 9v^3 - 4e - 6v^2 + 0.0003v + 1.0028 \quad (5),$$

$$f_{y1} = -5e - 9v^3 + e - 6v^2 - 0.0004v + 1.1724 \quad (6);$$

- податливость грунтового основания. С увеличением податливости основания собственные частоты здания снижаются, и чем жестче само здание, тем большее это влияние. Зависимость частоты собственных колебаний (f) по осям (х,у) здания от податливости основания (κ) выражается формулами (7,8):

$$f_{x1} = 0.2508 \ln(\kappa) + 1.4361 \quad (7),$$

$$f_{y1} = 0.2904 \ln(\kappa) + 1.3265 \quad (8);$$

- существенное снижение жесткости каркаса, связанное с повреждением несущих элементов в ответственных местах или появлении дефектов, в результате которых возникает повсеместное снижение жесткости по всей высоте здания, может вызвать уменьшение собственных частот до 53%;

- жесткость второстепенных конструктивных элементов (наружных стен, внутренних перегородок из штучных материалов).

Определение расчетной величины собственных колебаний несущих систем зданий с учетом наиболее значимых факторов служит теоретической основой для разработки методики оценки их технического состояния.

В четвертой главе разработана методика количественной оценки технического состояния зданий, которая основана на решении обратной задачи – определение категории технического состояния по изменениям динамических параметров во времени, с использованием теории прогнозирования риска аварии, выраженной через фактический износ здания.

Предложено фактический износ здания выразить в виде экспоненты (рис.6).

Для определения границ динамических критериев, позволяющих количественно оценить категорию технического состояния здания, использована формула (9):

$$J = J(t) = 1 - \exp \{-\kappa (R - 1)\}. \quad (9)$$

где: J-фактический износ здания, J(t) – фактический износ эксплуатируемого здания на момент времени t; R- фактический риск аварии.

Для определения верхней границы фактического износа при нормативном техническом состоянии здания использованы следующие положения теории прогнозирования риска аварии. Показатели ресурса t_{∞} и t_n существенным образом зависят от величины фактического риска аварии на момент сдачи объекта в эксплуатацию. После окончания строительства фактический риск аварии здания, равен нормальному значению ($R = R_H = 2$), а срок строительства нормативный, равный $t_c = 2$ года.

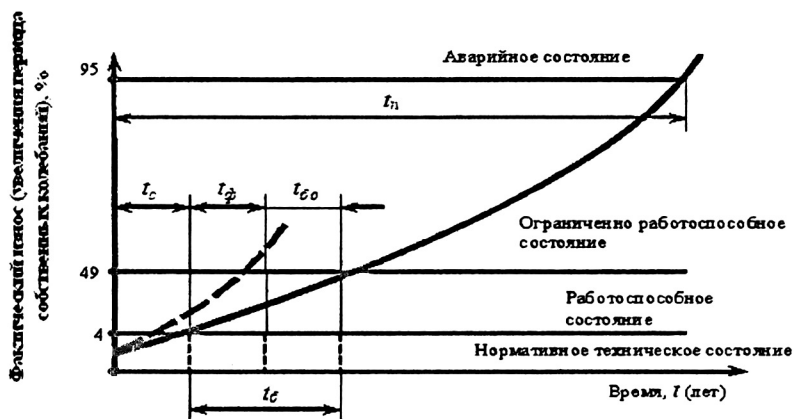


Рис. 6. Зависимость фактического износа здания от времени эксплуатации

Тогда из формулы (9) следует, что фактический износ здания при определении верхней границы нормативного технического состояния составит:

$$J = 1 - \exp \{-\kappa (R - 1)\} = 1 - \exp \{-0,0365 (2 - 1)\} = 0,0358 (4 \%).$$

Для определения верхней границы фактического износа при работоспособном состоянии здания предельно-допустимом риск $R_{\text{нд}} = 19$, фактический износ здания соответствующий переходу здания из работоспособного в ограниченно-работоспособное состояние составит:

$$J = 1 - \exp \{-\kappa (R - 1)\} = 1 - \exp \{-0,0365 (19 - 1)\} = 0,49 (49 \%).$$

Для определения верхней границы фактического износа при ограниченно работоспособном состоянии предельно-допустимом риск $R_{\text{нд}} = 83$, при этом фактический износ здания соответствующий переходу здания из ограниченно работоспособного в аварийное состояние составит:

$$J = 1 - \exp \{-\kappa (R - 1)\} = 1 - \exp \{-0,0365 (83 - 1)\} = 0,95 (95 \%).$$

Для определения категории технического состояния здания, нами предложено выразить фактический износ через увеличение периода собственных колебаний и определять по формуле (10):

$$J = (T_f - T_p) / T_p \cdot 100 \quad (10),$$

где: T_f — фактический период собственных колебаний здания, T_p — расчетный период собственных колебаний здания.

Сущность методики количественной оценки технического состояния несущих систем на основе динамических критериев раскрывает алгоритм последовательности действий и принятия решений (рис.7).

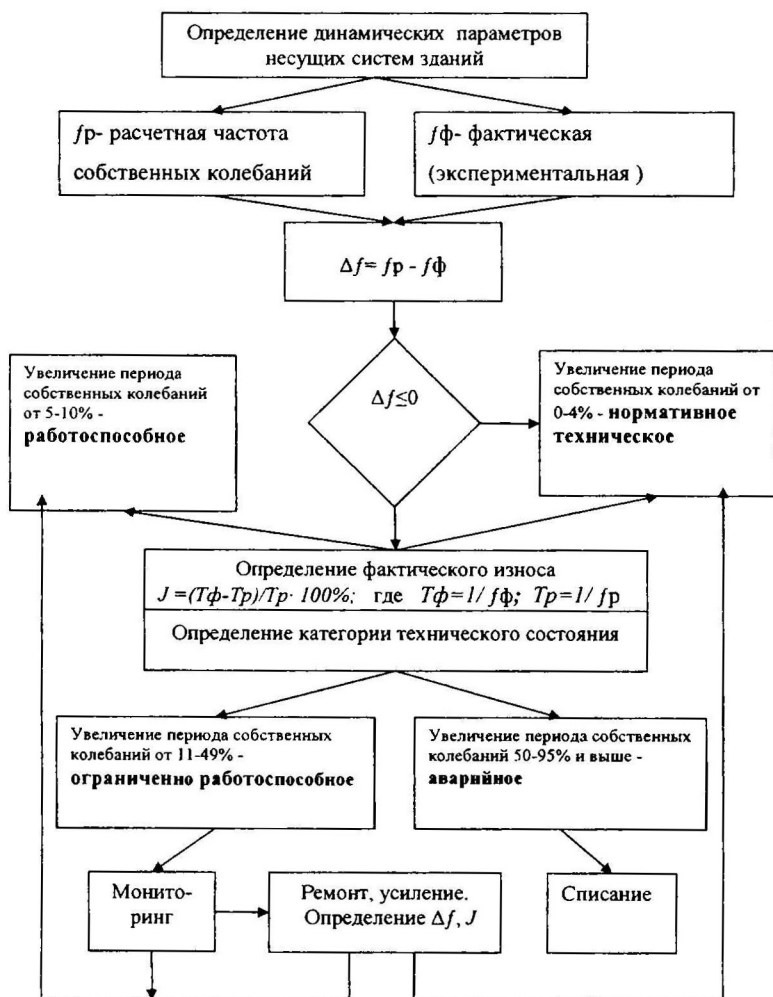


Рис. 7. Алгоритм последовательности действий и принятия решений

На основе полученных диагностических и расчетных данных о фактическом износе (увеличении периода собственных колебаний) определяется категория технического состояния несущих систем зданий, предлагается проводить необходимые дополнительные расчеты и разрабатывать инженерные мероприятия, повышающие их прочность и устойчивость.

В пятой главе проведена апробация методики количественной оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических

критериев, приведено сравнение результатов численных и экспериментальных исследований динамических характеристик зданий на примере зданий с железобетонным каркасом. Применен метод математической статистики для подтверждения достоверности полученных результатов.

Для определения эффективности методики оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев были проведены экспериментальные исследования спектра частот собственных колебаний 17-ти этажного здания жилого дома расположенного по ул. Дубравная в Приволжском районе г. Казани.

Для получения экспериментальных (фактических) данных и сравнения их с численными значениями, проводились замеры частот собственных колебаний на 3-х стадиях: 6 этажей, 16 этажей, 17 этажей (табл.3,4,5,6).

Таблица 3

Сравнение результатов расчета 6 этажей с экспериментальными данными, с учетом податливости основания

Направление	Частоты, Гц			
	эксперимент	при жесткости свай $k = 28350 \text{ кН/м}$	при жесткости свай $k = 56693 \text{ кН/м}$	при жесткости свай $k = 113386 \text{ кН/м}$
f_{x1}	2,4 Гц	2,27 Гц	2,46 Гц	2,62 Гц
f_{y1}	2,6 Гц	2,30 Гц	2,50 Гц	2,71 Гц

Из табл. 3 видно, что частоты собственных колебаний зависят не только от жесткости самого здания, но от податливости грунтового основания. Чем выше податливость основания, тем ниже частота собственных колебаний.

Таблица 4

Сравнение результатов расчета 16-ти этажного монолитного каркаса с экспериментальными данными

Направление	Частоты, Гц			
	эксперимент	при жестком основании без учета работы стен и перегородок	при жестком основании с учетом работы стен и перегородок	при податливом основании с учетом работы стен и перегородок
f_{x1}	1,1 Гц	0,81 Гц	1,39 Гц	1,08 Гц
f_{y1}	1,2 Гц	0,87 Гц	1,55 Гц	1,22 Гц
Отклонение численных значений от экспериментальных		-35,8 % (f_{x1}) -37,93 % (f_{y1})	+26,36 % (f_{x1}) +29,17 % (f_{y1})	-1,85 % (f_{x1}) +1,67 % (f_{y1})

Из табл.4 следует, что наилучшая сходимость численных и экспериментальных данных наблюдается при расчете каркаса с учетом податливости основания и работы второстепенных элементов (наружных стен

и перегородок).

Таблица 5

Сравнение результатов расчета 17-ти этажного монолитного каркаса с экспериментальными данными при разных уровнях временной нагрузки на перекрытия ν

Направление	Частоты, Гц	
	эксперимент	при $\nu = 30 \text{ кг/м}^2$
f_{x1}	1,07 Гц	1,01 Гц
f_{y1}	1,17 Гц	1,16 Гц
Отклонение численных значений от экспериментальных		-5,9 % (f_{x1}) -0,86 % (f_{y1})

Таблица 6

Влияние величины временной нагрузки, действующей на перекрытия, на частоты собственных колебаний здания

Направление	Частоты, Гц			
	эксперимент	при $\nu = 30 \text{ кг/м}^2$	при $\nu = 150 \text{ кг/м}^2$	при $\nu = 300 \text{ кг/м}^2$
f_{x1}	1,07 Гц	1,01 Гц	0,97 Гц	0,89 Гц
f_{y1}	1,17 Гц	1,16 Гц	1,12 Гц	1,02 Гц

Анализ полученных результатов (табл.5,6) показывает, что сходимость численных значений частот собственных колебаний здания с экспериментальными значениями при учете только длительной части временной нагрузки от веса людей и оборудования (30 кг/м^2) достаточно высокая.

Анализ сравнения полученных экспериментальных данных динамических критериев с численными значениями показывает, что разработанная методика количественной оценки технического состояния несущих систем зданий является достоверной и эффективной.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основе анализа отечественной и зарубежной литературы разработаны теоретические подходы для определения количественной оценки технического состояния зданий на основе динамических критериев. Определен основной диагностический признак (Δf), представленный в виде разности фактической (f_f) и расчетной (f_p) величин собственных колебаний ($\Delta f = f_p - f_f$) и определено условие, позволяющее судить о снижении несущей способности, как грунтовых оснований, так и несущих конструкций.

2. Проведен численный эксперимент, с использованием моделирования напряженно-деформированного состояния несущих систем зданий, который позволил установить наиболее значимые факторы (податливость грунтового основания, интенсивность приложенной временной нагрузки, дефекты и повреждения, жесткость второстепенных конструктивных элементов)

влияющие на частоты и формы собственных колебаний зданий с железобетонным каркасом.

3. Численным экспериментом установлена зависимость частоты собственных колебаний здания от величины временной нагрузки, с целью уточнения ее расчетной величины.

4. Установлена зависимость частоты собственных колебаний здания от податливости основания, которую предложено использовать для оценки влияния на жесткость несущих систем.

5. Адаптирована теория прогнозирования риска аварии для оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев. Определена зависимость фактического износа здания от периода собственных колебаний, которая использована для определения нижней и верхней границ категории технического состояния здания.

6. Определены границы увеличения периода собственных колебаний несущих систем зданий, позволяющие количественно оценить категорию их технического состояния (0-4% -- нормативное техническое, от 5-10% -- работоспособное, от 11-49% -- ограниченно работоспособное, 50-95% и выше -- аварийное);

7. На основе полученных диагностических и расчетных данных о фактическом износе, выраженном через увеличение периода собственных колебаний, разработан алгоритм последовательности действий и принятия решений для методики количественной оценки технического состояния несущих систем зданий.

8. Разработана методика оценки состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев для определения категории их технического состояния.

9. Проведена апробация методики количественной оценки технического состояния несущих систем зданий, приведено сравнение результатов численных и экспериментальных исследований динамических характеристик зданий с железобетонным каркасом, которое показало, что разработанная методика достоверна и эффективна.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Галиуллин, Р.Р. Использование высокоразрешающей сейсморазведки для изучения инженерно-геологических условий на территории Татарстана/Р.Р.Галиуллин //Известия КазГАСУ.-2005.- №2(4).-С.52-53.

2. Галиуллин, Р.Р. Комплексная оценка надежности строительных конструкций/ Р.Р.Галиуллин, В.С.Изотов //Региональный отраслевой журнал «Строй-экспертиза».-2007.- №3.- С.30-31.

3. Галиуллин, Р.Р. Использование методов инженерной геофизики при комплексной оценке технического состояния строительных конструкций/ Р.Р.Галиуллин, В.С.Изотов// Материалы научно-технической конференции КазГАСУ.-2007.-С.20-21.

4. Галиуллин, Р.Р. Оперативная диагностика теплотехнического состояния

ограждающих конструкций зданий и сооружений / Ю.П.Дябин, Р.Р.Галиуллин// Материалы научно-технической конференции Воронежский ГАСУ.-2006.- Том 1.-С.-129-130.

5. Галиуллин, Р.Р. Эксплуатационная безопасность объектов недвижимости /Р.Р.Галиуллин, В.С.Изотов, Р.Х.Мубаракшин, Р.З.Рахимов // Материалы научно-технической конференции Воронежский ГАСУ.-2006.-Том 1.-С.146-147.

6. Галиуллин, Р.Р. Тепловизионный метод контроля в исследованиях деформированного состояния железобетонных изделий/Ильшат Т. Мирсаяпов, Ю.П.Дябин, Р.Р.Галиуллин// Строительные Материалы.-2006.- №6.-С.23-24.

7. Галиуллин, Р.Р. Определение величины динамического прогиба железобетонной плиты под действием кратковременной импульсной нагрузки /Г.М.Нигметов, Р.Р.Галиуллин// Научно-технический журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень», Московский государственный горный университет.-2009.-С.51-53.

8. Галиуллин, Р.Р. Численные исследования динамических характеристик зданий с железобетонным каркасом /Р.Р.Галиуллин, В.С.Изотов, Д.М.Нуриева // Известия КазГАСУ.-2011.- №2(16).-С.11-15.

9. Галиуллин, Р.Р. Оценка технического состояния зданий с железобетонным каркасом на основе исследования их динамических характеристик /Р.Р.Галиуллин// Материалы международных академических чтений.-Курский Государственный Университет.- 2011.-С.195-206.

Подписано к печати 12.11. 2012 г.

Формат 60х84/16

Печать RISO

Объем 1 п.л.

Заказ №504

Тираж 100 экз.

Отпечатано в полиграфическом секторе
Издательства КГАСУ
420043, Казань, ул. Зеленая, д.1